

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

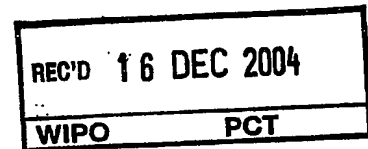
27.10.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日      2 0 0 3 年 1 0 月    3 日  
Date of Application:

出 願 番 号      特 願 2 0 0 3 - 3 4 6 2 8 7  
Application Number:  
[ST. 10/C] :      [ J P 2 0 0 3 - 3 4 6 2 8 7 ]



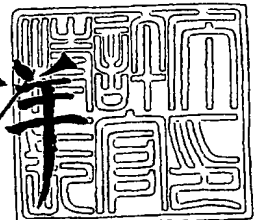
出 願 人      エヌティティエレクトロニクス株式会社  
Applicant(s):      日本電信電話株式会社

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 2 月    2 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願  
【整理番号】 NEL03408  
【提出日】 平成15年10月 3日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01S 5/026  
G02F 1/025

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都渋谷区道玄坂1丁目12番1号 エヌティティエレクトロ  
ニクス株式会社内  
【氏名】 石橋 忠夫

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都渋谷区道玄坂1丁目12番1号 エヌティティエレクトロ  
ニクス株式会社内  
【氏名】 安藤 精後

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
【氏名】 都築 健

【特許出願人】  
【識別番号】 591230295  
【氏名又は名称】 エヌティティエレクトロニクス株式会社

【特許出願人】  
【識別番号】 000004226  
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100077481  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 谷 義一

【選任した代理人】  
【識別番号】 100088915  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 阿部 和夫

【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 013424  
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【包括委任状番号】 0111942

## 【書類名】特許請求の範囲

## 【請求項 1】

電気光学効果を持つ半導体コア層、該コア層の上下を挟み該コア層のそれよりもバンドギャップの大きな第 1 及び第 2 の半導体クラッド層、該第 1 の半導体クラッド層の下に配置された n 形のドーパントを含む第 3 の半導体クラッド層、および前記第 2 の半導体クラッド層の上に配置された第 4 の半導体クラッド層を少なくとも備えた半導体ヘテロ構造の積層体であって、

基板側に前記第 3 の半導体クラッド層と前記第 1 の半導体クラッド層が配置され、前記第 2 の半導体クラッド層と前記第 4 の半導体クラッド層間に p 形のドーパントを含み前記コア層のそれよりもバンドギャップの大きな第 5 の半導体層が挿入され、

前記第 4 のクラッド層内の一部に n 形の変調導波路の主領域が形成され、該主領域に隣接する分離領域は p 形の導電性を持ち、前記主領域と前記分離領域に共通の電極が接触し、前記第 3 の半導体クラッド層にもう一つの電極が接触し、両電極を介して前記コア層に電圧が印加される構造を持つことを特徴とする半導体光変調導波路。

## 【請求項 2】

前記第 4 のクラッド層内の前記 n 形の変調導波路の主領域の一部を p 形の導電性を持つ領域とし、該 p 形の導電性を持つ領域が n 形主領域と電氣的に共通の電極を持つことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光変調導波路。

## 【請求項 3】

前記 n 形の変調導波路の主領域の外側両側の第 4 のクラッド層に一对の電極が形成され、該電極が前記第 3 の半導体クラッド層の n 電極と接続されていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体光変調導波路。

## 【書類名】明細書

## 【発明の名称】半導体光変調導波路

## 【技術分野】

【0001】

本発明は長波長帯の超高速光変調器に用いる半導体光変調導波路に関する。

## 【背景技術】

【0002】

近年の大容量光通信システムは、Gbit/s 級以上の高速変調された光信号を伝送する様になったが、長距離になるほどファイバの分散効果の影響が生じやすいため、波長チャープ（chirping）の少ない、もしくは波長チャープが制御された光信号を用いる必要がある。そのために、レーザダイオードの直接変調ではなく、通常は直流動作のレーザダイオードと外部変調器を組み合わせた構成で光信号を発生している。長距離伝送に使用される従来の典型的な外部変調器は、 $\text{LiNbO}_3$ （LN）導波路で構成された LN 変調器である。このタイプの光変調器の動作原理は、光導波路と電気導波路を結合させる（光電子導波路）ことにより、電気光学効果に基づく屈折率変化を応用して、屈折率変化を介して入力電気信号により光に位相変化を与えることによるものであり、光位相変調器、マッハツェンダ干渉計を組んだ光強度変調器、また多数の導波路を結合させてより機能の高い光スイッチとして機能させることができる。

【0003】

しかしながら、LN 変調器は、 $\text{LiNbO}_3$  が誘電体材料であるがゆえに、材料表面の安定化や導波路の加工に高度な製作技術を要する。また、LN 変調器は、導波路長が比較的長く、そのため通常の半導体プロセスのものとは異なる特殊なフォトリソグラフィーを用いる必要がある。またその結果、LN 変調器を実装するパッケージのサイズは大きくならざるを得ない。この様なことから、LN 変調器モジュールは製造コストが高くなり、光送信器のサイズが比較的大きくなるという課題があった。

【0004】

LN 変調器と同様の動作原理を用いた半導体光変調器も従来から存在している。これら半導体光変調器としては、半絶縁性の GaAs にショートキー電極を配置し、それを光電子導波路とした GaAs 光変調器や、ヘテロ pn 接合を用いて光の閉じ込めと共に導波路のコア部分に効果的に電圧が印加される様にした InP/InGaAsP 光変調器などがある。ただし、これらの半導体光変調器は、前者の GaAs 光変調器については導波路長が長く電気ロスが大きいという課題、後者の InP/InGaAsP 光変調器については p クラッド層の光吸収が大きく、導波路を長く取れないために動作電圧を低くできないという課題があった。

【0005】

【特許文献 1】特開平 2003-177368 号公報

【特許文献 2】米国特許第 5,647,029 号明細書

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

【0006】

そこで、本発明者らは、上記のような課題を避ける構造として、図 4 に示すように、InP/InGaAsP 光変調器の両側のクラッド層共に n 形としたもの（いわゆる n in n 形構造）をごく最近提案した（特願 2003-332542 号）。図 4 に示す構成では、コア層 44 に電圧をかける際に電子電流が流れない様に、電子に対するバリア層を設ける必要があり、そのバリア層としては、コア層 44 の下側に p 形のドーピン層を導入した半導体クラッド層 42 を挿入している。コア層 44 の上部の n 形クラッド層 46-1 の両脇を p 形層とし、これを電気分離層 46-2 としている。なお、41 は n 形の第 3 の半導体クラッド層、43 は第 1 の半導体クラッド層、45 は第 2 の半導体クラッド層、46-3 は第 4 の半導体クラッド層 46-1、46-2 の接続導波路領域、および 47、48 は n 電極である。

## 【0007】

図4に示す  $n i n$  形  $InP / InGaAsP$  光変調器の導波路構造においては、駆動電圧を低減できるという優れた特徴を持つが、コア層44に少ないながらも光吸収があり、そこで発生したホールがバリア層42に蓄積し、その結果、電子に対するバリアが下がり、リーク電流が発生するという現象（寄生フォトトランジスタ効果）が起こるという、さらに解決すべき課題があることが判明した。すなわち、トランジスタ動作で言えば、ベースが開放状態で、ベースホール濃度が上昇すると、エミッタ／ベース接合が順バイアスされる状態となる。さらに、順バイアスの電圧分だけコア層44にかかる電圧も低下するので、光波長や光強度によって変調特性が変わってしまうという結果をもたらし、これが変調器としての利用範囲を制限することとなる。

## 【0008】

本発明の目的は、 $n i n$  形  $InP / InGaAsP$  光変調器のような半導体光変調導波路でコア層電圧の変動が起こるという上述の課題を解決し、半導体光変調導波路の安定動作を実現することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

上記目的を達成するため、本発明の半導体光変調導波路は、電気光学効果を持つ半導体コア層、該コア層の上下を挟み該コア層のそれよりもバンドギャップの大きな第1及び第2の半導体クラッド層、該第1の半導体クラッド層の下に配置された  $n$  形のドーパントを含む第3の半導体クラッド層、および前記第2の半導体クラッド層の上に配置された第4の半導体クラッド層を少なくとも備えた半導体ヘテロ構造の積層体であって、基板側に前記第3の半導体クラッド層と前記第1の半導体クラッド層が配置され、前記第2の半導体クラッド層と前記第4の半導体クラッド層間に  $p$  形のドーパントを含み前記コア層のそれよりもバンドギャップの大きな第5の半導体層が挿入され、前記第4のクラッド層内の一部に  $n$  形の変調導波路の主領域が形成され、該主領域に隣接する分離領域は  $p$  形の導電性を持ち、前記主領域と前記分離領域に共通の電極が接触し、前記第3の半導体クラッド層にもう一つの電極が接触し、両電極を介して前記コア層に電圧が印加される構造を持つことを特徴とする。

## 【0010】

ここで、前記第4のクラッド層内の前記  $n$  形の変調導波路の主領域の一部を  $p$  形の導電性を持つ領域とし、該  $p$  形の導電性を持つ領域が  $n$  形主領域と電気的に共通の電極を持つことを特徴とすることができる。

## 【0011】

また、前記  $n$  形の変調導波路の主領域の外側両側の第4のクラッド層に一对の電極が形成され、該電極が前記第3の半導体クラッド層の  $n$  電極と接続されていることを特徴とすることができる。

## 【発明の効果】

## 【0012】

本発明は、上記構成により、 $n i n$  形ヘテロ構造を用いた光電子導波路の寄生バイポーラ効果の抑制をすることができ、その結果、 $p$  形バリア層に蓄積されるホールにより、バリアの高さが変動し、リーク電流が発生し、コア層電圧の変動が起こるという課題を解決することができる。

## 【0013】

また、そのため、本発明は、駆動電圧を低減できるという特徴を持つ  $n i n$  形ヘテロ構造を用いた光変調器の特性を安定に実現するのに効果を発揮し、より高い入力光電力を許容し、光送信モジュールの出力を増大させることができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0014】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

## (第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態における半導体光変調導波路の構造を図1に示す。基板（図示していない）側から説明すると、11はn形の第3のInP n形クラッド層、12は低ドーピング濃度でInPよりもバンドギャップの小さい第1のInGaAlAsクラッド層（半導体クラッド層）、13は電気光学効果が動作光波長で有効に働き、光吸収が問題にならない程度に低くなる様にその構造が決められた半導体コア層である。本デバイスが、 $1.5\mu\text{m}$ 帯のデバイスであれば、InGaAlAsのGa/Al組成を変えた層を、それぞれ量子井戸層とバリア層にした多重量子井戸構造とする。

#### 【0015】

14は低ドーピング濃度でInPよりもバンドギャップの小さい第2のInGaAlAsクラッド層（半導体クラッド層）であり、さらに、このクラッド層14上に、15のp形InPバリア層（第5の半導体クラッド層）を配置する。

#### 【0016】

第4のInPクラッド層16は3つの領域から成り、16-1はn形InPからなる光変調部、16-2はp形InP領域（分離領域）であり、その底面はp形InPバリア層15に接触する。このp形InP領域16-2は、例えば、11-16までの層の成長後に、16-2に相当する部分をエッチングで取り除きp形InPを再成長させるか、あるいは16の層の一部にイオン注入法でBeアクセプタを導入することにより形成できる。16-3は、導電性は問わないInPの接続導波路領域である。

#### 【0017】

17と18は金属電極であり、一方の電極17に対して他方の電極18を負の極性としてコア層13に電圧を印加する。金属電極18は、16-1と16-2の両方の領域に電氣的接触を取る。動作状態で使用する印加電圧範囲で、光変調部直下の12-15の層はすべて、n形InPクラッド層16-1とp形InPバリア層15との界面の一部の空乏化部分を除き、ほとんどn形の中性を保つ様にドーピング濃度を決める。

#### 【0018】

図1に示すデバイスを光電子導波路として機能させるには、図1に示すメサ構造の断面と垂直な方向に光を伝搬させた状態で、電極18に電気信号を入力し、n形の第3のInP n形クラッド層11とn形InPからなる光変調部の層16-1間に電圧を印加する。ここで、InPバリア層15はp形であり、電子に対するポテンシャルバリアとして働くので、層16-1からの電子注入が抑制され、リーク電流の発生が少ない状態でコア層13に電圧を印加して、電気光学効果に基づく光位相の変調を行うことができる。

#### 【0019】

通常、光変調器として光電子導波路を用いる際には、電圧が印加される光変調部、及びこの光変調部の光入力／出力側に接続導波路16-3が配置され、それらの間を電氣的に分離する必要がある。本実施形態の構造においては、図1の16-2で示した部分が選択的にp形領域（p形InP領域）となっており、これが電気分離領域となる。

#### 【0020】

n形InPクラッド層16-1に電氣的に接続されたp形InP領域16-2の導入は以下の様な作用を持つ。すなわち、図4に示した従来の導波路構造では、先に述べた様に、コア層44の光吸収で発生したホールに伴う寄生フォトトランジスタ効果が起こってしまうが、本実施形態の構造では、空乏化したバリア層15よりもp形InP領域（分離領域）16-2の方が電位が低いので、ホールがp形InP領域（分離領域）16-2に流れこみ、バリア層15中のホールの蓄積を抑制することができる。

#### 【0021】

（第2の実施形態）

上述した本発明の第1の実施形態では、p形InP領域16-2は光変調部16-1の両脇に配置されているが、導波路が長くなると、光吸収で発生したホールをp形InP領域16-2に効果的に吸収できなくなる。これを防ぐには、本発明の第2の実施形態の構造を表わす図2に示すように、26-2のp形InP領域を光変調部内に多数配置すれば良い。

## 【0022】

第1の実施形態の場合と同様に、これらの領域26-2はn形InP領域26-1と電氣的接触を取る。ここで、p形InP領域26-2の縦方向の長さを短く取れば、ホール吸収の効果を保持しつつ、p形層の導入による光吸収の増大をごくわずかに抑えることが可能となる。また、各p形InP領域26-2に電極28が接続されて、これら領域26-2が同電位となることから、これら領域が電気信号の伝搬に対しても、悪影響を与えることはない。

## 【0023】

なお、21はn形の第3の半導体クラッド層、22は第1の半導体クラッド層、23は電気光学効果を持つ半導体コア層、24は第2の半導体クラッド層、25はp形の第5の半導体クラッド層、26-3は第4の半導体クラッド層のp形領域（分離領域）、26-4は第4の半導体クラッド層の接続導波路領域、27はn電極である。

## 【0024】

（第3の実施形態）

図3は、本発明の第3の実施形態における半導体光変調導波路の構造を示す。ここで、31はn形の第3の半導体クラッド層、32は第1の半導体クラッド層、33は電気光学効果を持つ半導体コア層、34は第2の半導体クラッド層、35はp形の第5の半導体クラッド層、36-1は第4の半導体クラッド層のn形領域（光変調部）、36-2は第4の半導体クラッド層のp形領域（分離領域）、36-3は第4の半導体クラッド層の接続導波路領域、37、38はn電極、39は第4の半導体クラッド層の接続導波路部分に形成された電極、および40は第4の半導体クラッド層の接続導波路部分を第3のクラッド層と同電位とする配線である。

## 【0025】

本実施形態の半導体光変調導波路は、電気分離領域として機能するp形InP領域36-2を挟んで、光変調導部36-1と反対側の第4のクラッド層（接続導波路部分）36-3のそれぞれに電極39を形成し、この電極39と第3の半導体クラッド層31上の電極37間に配線40を接続して、接続導波路36-3の電位を第3のクラッド層31と同電位とする構成のものである。

## 【0026】

この構成により、電気分離部36-2の抵抗が十分に高くない場合、電気分離領域の外側の電位が上がり、主導波路部分以外にバイアス電圧がかかってしまうという問題を排除できる。ここで、上記接続導波路の導電形はp, n, もしくは空乏化層としても良い。いずれの場合も、変調導波路部分との間が順バイアスとなって電流が流れる状態とはならないからである。

## 【0027】

（他の実施形態）

上述した本発明の第2と第3の実施形態を組み合わせることも有効である。また、上述した本発明の実施形態では、InPとInAlGaAsを材料とする例を述べたが、本発明はAlGaAs系やInGaAsP系を含む他のIII-V族化合物半導体を用いた光電子導波路構造にも同様に適用できる。このように、本発明の実施形態は上述したもの限定されず、特許請求の範囲に記載の範囲内であれば、材質等の置換、形状や個数の変更、周知部品や公知技術との単なる組合せ等は、本発明の実施形態に含まれる。

## 【0028】

なお、本発明の光電子導波路を半導体レーザと集積化する手法は、電界吸収形光変調器と半導体レーザとを集積化する周知の手法と技術的に同じであることは、言うまでもないので、その詳細な説明は省略する。

【産業上の利用可能性】

## 【0029】

本発明の半導体光変調導波路は、長波長帯の超高速光変調器に用いることができ、高速光ネットワーク通信等に大いに寄与できると期待できる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0030】

【図1】本発明の第1の実施形態における半導体光変調導波路の構造を示す模式図である。

【図2】本発明の第2の実施形態における半導体光変調導波路の構造を示す模式図である。

【図3】本発明の第3の実施形態における半導体光変調導波路の構造を示す模式図である。

【図4】先願の半導体光変調導波路の構造の一例を示す模式図である。

## 【符号の説明】

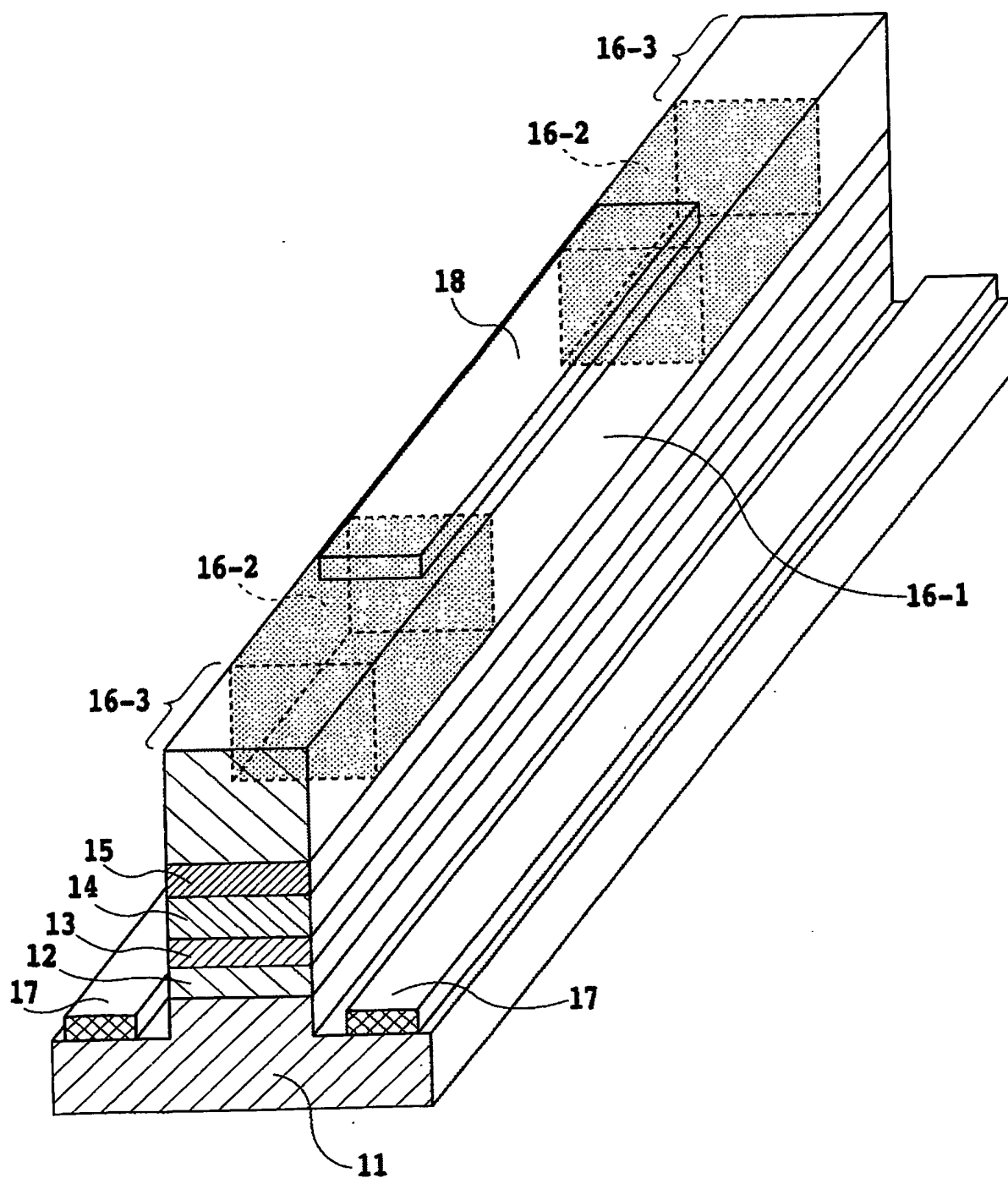
## 【0031】

- 11 n形の第3の半導体クラッド層
- 12 第1の半導体クラッド層
- 13 電気光学効果を持つ半導体コア層
- 14 第2の半導体クラッド層
- 15 p形の第5の半導体クラッド層
- 16-1 第4の半導体クラッド層のn形領域（光変調部）
- 16-2 第4の半導体クラッド層のp形領域（分離領域）
- 16-3 第4の半導体クラッド層の接続導波路領域
- 17, 18 n電極
- 21 n形の第3の半導体クラッド層
- 22 第1の半導体クラッド層
- 23 電気光学効果を持つ半導体コア層
- 24 第2の半導体クラッド層
- 25 p形の第5の半導体クラッド層
- 26-1 第4の半導体クラッド層のn形領域（光変調部）
- 26-2 第4の半導体クラッド層の光変調部に配置されたp形領域
- 26-3 第4の半導体クラッド層のp形領域（分離領域）
- 26-4 第4の半導体クラッド層の接続導波路領域
- 27, 28 n電極
- 31 n形の第3の半導体クラッド層
- 32 第1の半導体クラッド層
- 33 電気光学効果を持つ半導体コア層
- 34 第2の半導体クラッド層
- 35 p形の第5の半導体クラッド層
- 36-1 第4の半導体クラッド層のn形領域（光変調部）
- 36-2 第4の半導体クラッド層のp形領域（分離領域）
- 36-3 第4の半導体クラッド層の接続導波路領域
- 37, 38 n電極
- 39 第4の半導体クラッド層の接続導波路部分に形成された電極
- 40 第4の半導体クラッド層の接続導波路部分を第3のクラッド層と同位相とする配線
- 41 n形の第3の半導体クラッド層
- 42 p形の半導体クラッド層（バリア層）
- 43 第1の半導体クラッド層
- 44 電気光学効果を持つ半導体コア層
- 45 第2の半導体クラッド層
- 46-1 第4の半導体クラッド層のn形領域（光変調部）
- 46-2 第4の半導体クラッド層のp形領域（分離領域）
- 46-3 第4の半導体クラッド層の接続導波路領域

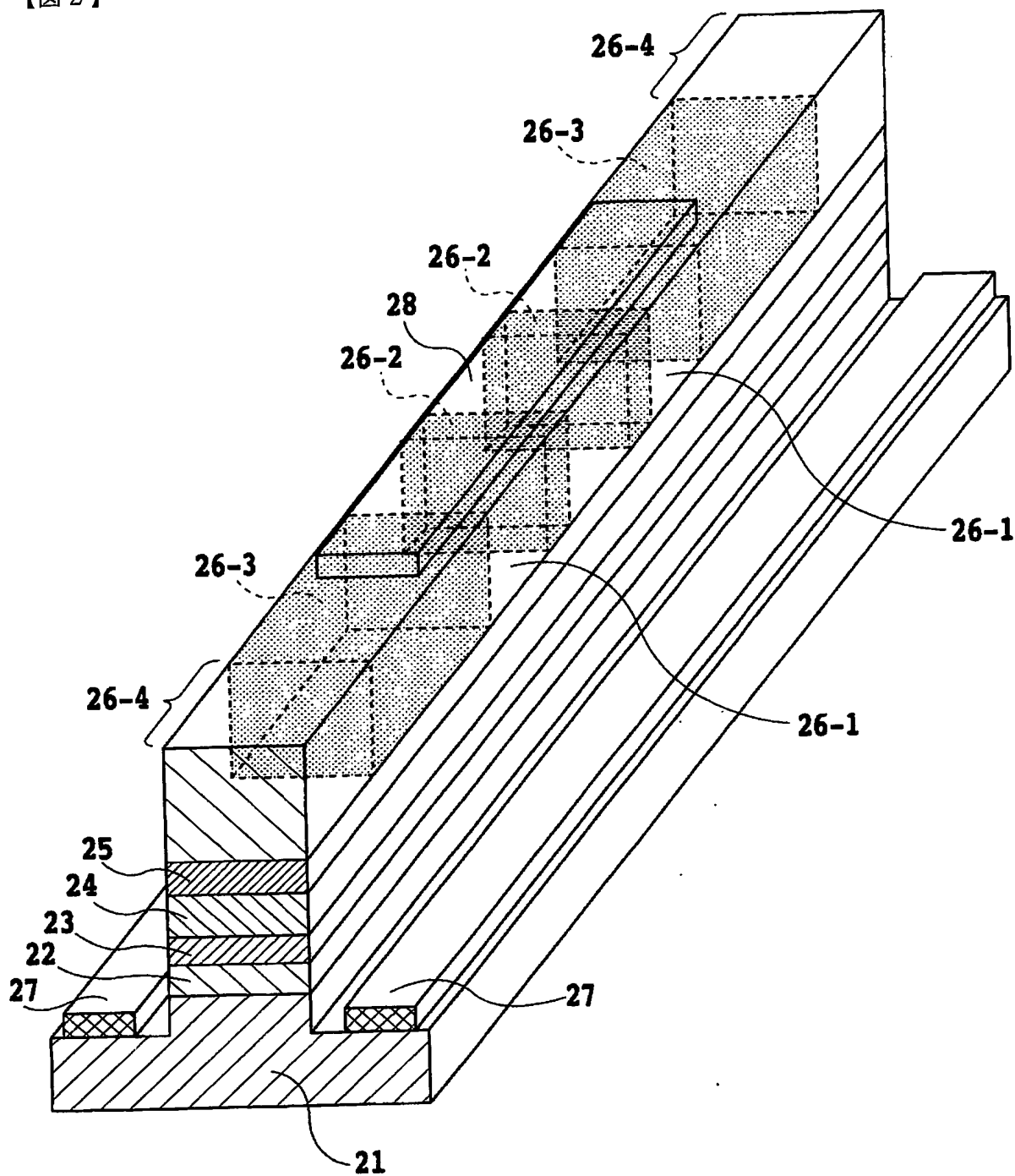


47, 48 n 電極

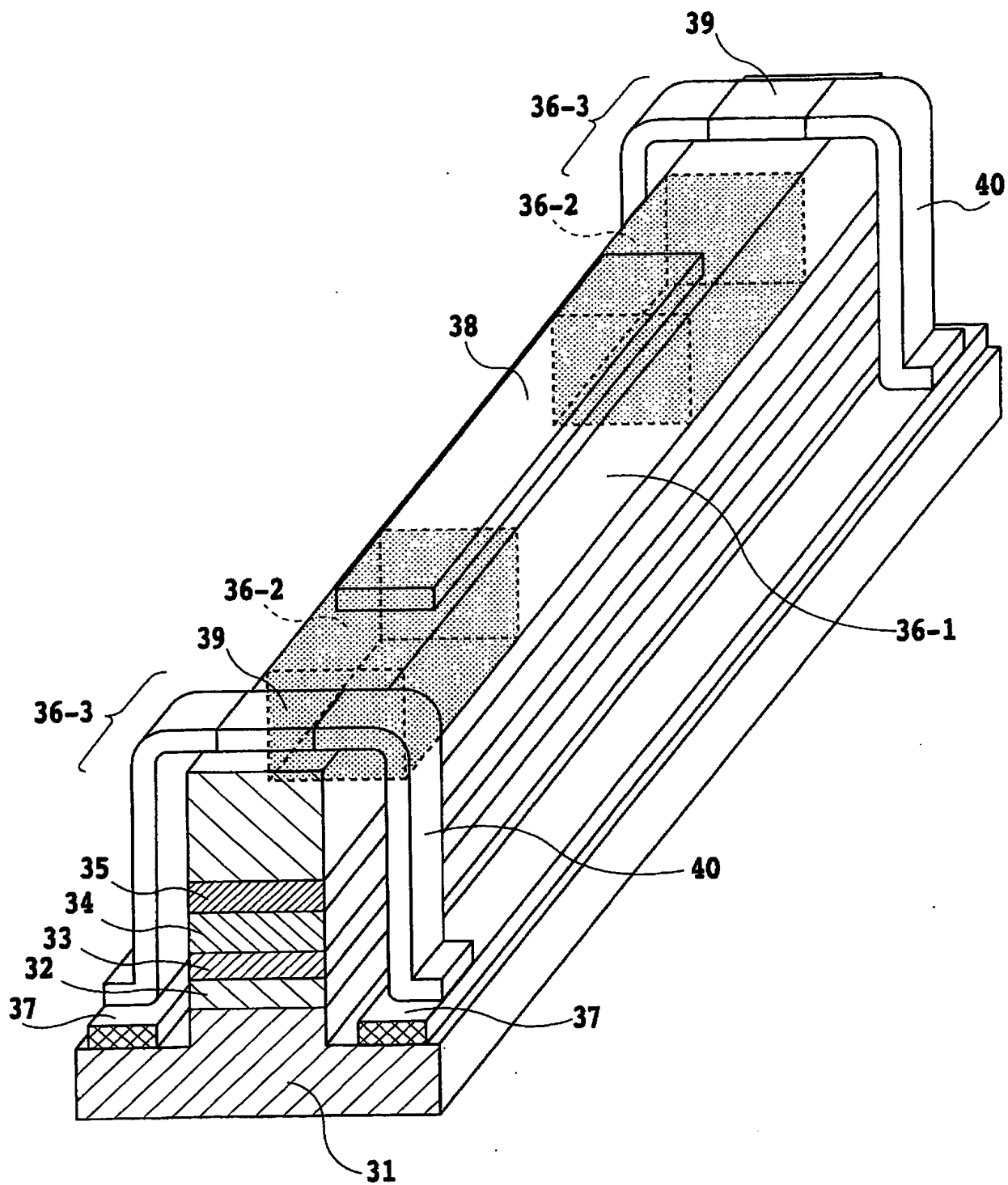
【書類名】 図面  
【図 1】



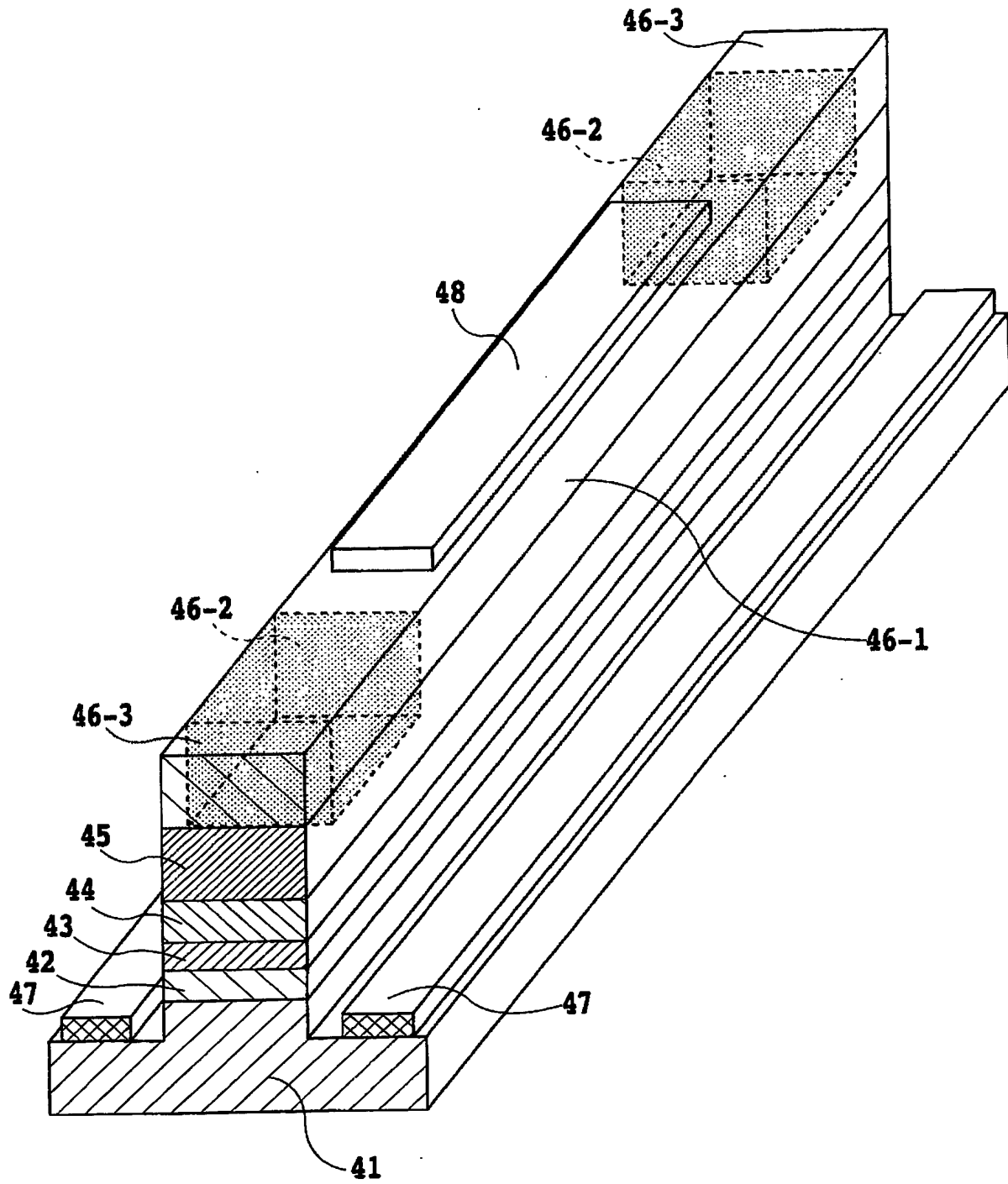
【図 2】



【図 3】



【図 4】



## 【書類名】要約書

## 【要約】

【課題】  $n i n$  形  $I n P / I n G a A s P$  光変調器のような半導体光変調導波路でコア層電圧の変動が起こるという課題を解決し、安定動作を実現する。

【解決手段】 メサ構造の断面と垂直な方向に光を伝搬させた状態で、電極 18 に電気信号を入力し、 $n$  形の  $I n P$   $n$  クラッド層 11 と  $n$  形  $I n P$  からなる光変調部の層 16-1 間に電圧を印加する。 $I n P$  バリア層 15 は  $p$  形であり、電子に対するポテンシャルバリアとして働くので、層 16-1 からの電子注入が抑制され、リーク電流の発生が少ない状態でコア層 13 に電圧を印加して、電気光学効果に基づく光位相の変調を行うことができる。空乏化したバリア層 15 よりも  $p$  形  $I n P$  領域（分離領域）16-2の方が電位が低いので、ホールが領域 16-2 に流れこみ、バリア層 15 中のホールの蓄積を抑制することができる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 3 4 6 2 8 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 5 9 1 2 3 0 2 9 5 ]

1. 変更年月日

2 0 0 0 年 3 月 1 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都渋谷区道玄坂1丁目12番1号

氏 名

エヌティティエレクトロニクス株式会社

特願 2003-346287

ページ: 2/E

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000004226]

1. 変更年月日

1999年 7月15日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名

日本電信電話株式会社